

**MICRO-COMMUTATEUR BISTABLE A FAIBLE CONSOMMATION****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

5

La présente invention concerne un micro-commutateur bistable, à faible consommation et à déplacement horizontal.

Un tel micro-commutateur trouve notamment  
10 une utilité dans le domaine de la téléphonie mobile et dans le domaine spatial.

Les composants RF destinés à ces domaines sont soumis au cahier des charges suivant :

- tension d'alimentation inférieure à 5  
15 volts,

- isolation supérieure à 30 dB,
- pertes d'insertion inférieures à 0,3dB,
- fiabilité correspondant à un nombre de

cycles supérieur à  $10^9$ ,

20 - surface inférieure à  $0,05 \text{ mm}^2$ ,  
- consommation la plus faible possible.

Dans le cas du domaine spatial en particulier, certains commutateurs ne sont utilisés qu'une seule fois, pour basculer d'un état à un autre  
25 état en cas de panne d'équipement par exemple. Pour ce type d'application, on note actuellement un très fort intérêt pour des commutateurs bistables qui ne nécessitent pas de tension d'alimentation une fois qu'ils ont basculé d'un état à l'autre.

30 On note également un fort intérêt pour des commutateurs doubles qui simplifient considérablement

les matrices de commutateurs des circuits redondants  
utilisées dans le cas de fonctions critiques. Ce type  
d'application se trouve notamment dans le domaine  
spatial (antennes satellites). Ces commutateurs doubles  
5 permettent de basculer un signal d'entrée d'un circuit  
électronique à un autre en cas de panne. Ce sont donc  
des commutateurs qui présentent la possibilité de  
commuter soit un premier jeu de deux pistes électriques  
entre elles, soit un deuxième jeu de deux pistes  
10 électriques.

Les commutateurs doubles présentent  
l'avantage d'obtenir des circuits comportant moins de  
composants (par exemple 10 fonctions de redondance  
demandent 10 commutateurs doubles au lieu de 20  
15 commutateurs simples), ce qui signifie entre autres  
moins de tests de fiabilité, moins de montage, un gain  
de place et globalement un coût moindre.

#### **ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

20 Dans le domaine des communications, les  
micro-commutateurs conventionnels (c'est-à-dire ceux  
relevant de la microélectronique) sont très largement  
utilisés. Ils servent dans le routage des signaux, les  
réseaux d'accord d'impédance, l'ajustage de gain  
25 d'amplificateurs, etc... En ce qui concerne les bandes de  
fréquence des signaux à commuter, elles peuvent aller  
de quelques MHz à plusieurs dizaines de GHz.

Classiquement, pour ces circuits RF, on  
30 utilise des commutateurs issus de la microélectronique,  
qui permettent une intégration avec l'électronique des

circuits et qui ont un coût de fabrication faible. En termes de performance, ces composants sont par contre assez limités. Ainsi, des commutateurs de type FET en silicium peuvent commuter des signaux de forte puissance à basses fréquences, mais pas à hautes fréquences. Les commutateurs de types MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor) en GaAs ou les diodes PIN marchent bien à hautes fréquences, mais uniquement pour des signaux de faibles niveaux. Enfin, d'une manière générale, au-delà de 1 GHz, tous ces commutateurs microélectroniques présentent une perte d'insertion importante (classiquement autour de 1 à 2 dB) à l'état passant et une isolation assez fiable à l'état ouvert (de -20 à -25dB) Le remplacement de ces composants conventionnels par des micro-commutateurs MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System) est par conséquent prometteur pour ce type d'application.

De par leur conception et leur principe de fonctionnement, les commutateurs MEMS présentent les caractéristiques suivantes :

- faibles pertes d'insertion (typiquement inférieures à 0,3dB),
- isolation importante du MHz au millimétrique (typiquement supérieure à -30dB),
- pas de non-linéarité de réponse (IP3).

On distingue deux types de contact pour les micro-commutateurs MEMS : le contact ohmique et le contact capacitif. Dans le commutateur à contact ohmique, les deux pistes RF sont contactées par un court-circuit (contact métal-métal). Ce type de contact est adapté aussi bien pour les signaux continus que

pour les signaux hautes fréquences (supérieures à 10 GHz). Dans le commutateur à contact capacitif, un espace d'air est ajusté de manière électromécanique pour obtenir une variation de capacité entre l'état  
5 fermé et l'état ouvert. Ce type de contact est particulièrement bien adapté aux hautes fréquences (supérieures à 10 GHz) mais inadéquat aux basses fréquences.

On distingue plusieurs grands principes  
10 d'actionnement pour les commutateurs MEMS.

Les micro-commutateurs à actionnement thermique que l'on peut qualifier de classiques sont non bistables. Ils offrent l'avantage d'une faible tension d'actionnement. Ils présentent plusieurs  
15 inconvénients : une consommation excessive (surtout dans le cas d'applications en téléphonie mobile), une faible vitesse de commutation (à cause de l'inertie thermique) et la nécessité d'une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

20 Les micro-commutateurs à actionnement électrostatique que l'on peut qualifier de classiques sont non bistables. Ils offrent les avantages d'une vitesse de commutation rapide et d'une technologie généralement simple. Ils présentent des problèmes de  
25 fiabilité, ce point étant particulièrement sensible dans le cas de commutateurs électrostatiques à faible tension d'actionnement (collage des structures). Ils nécessitent également une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

30 Les micro-commutateurs à actionnement électromagnétique que l'on peut qualifier de classiques

sont non bistables. Ils fonctionnent généralement sur le principe de l'électro-aimant et utilisent essentiellement des circuits magnétiques à base de fer et une bobine d'excitation. Ils présentent plusieurs  
5 inconvénients. Leur technologie est complexe (bobine, matériau magnétique, aimant permanent dans certains cas, etc...). Leur consommation est importante. Ils nécessitent également une tension d'alimentation pour maintenir le contact en position fermée.

10 On distingue deux configurations de déplacement du contact : un déplacement vertical et un déplacement horizontal.

Dans le cas d'un déplacement vertical, le déplacement se fait hors du plan des pistes RF. Le  
15 contact se fait sur le dessus ou sur le dessous des pistes. Cette configuration présente l'avantage que la métallisation du plot de contact est facile à réaliser (dépôt à plat) et, par conséquent, la résistance de contact est faible. Cette configuration est cependant  
20 mal adaptée à la réalisation de la fonction de commutateur à double contact. Le contact sur le dessus est en effet difficile à obtenir. Il passe généralement par l'utilisation d'un contact sur le capot. Cette configuration présente aussi une faible compatibilité à  
25 l'intégration. En effet, pour les commutateurs résistifs, on utilise classiquement des pistes et des contacts avec une métallisation en or (bonnes propriétés électriques, pas d'oxydation). Ce métal n'est cependant pas compatible à l'intégration alors  
30 qu'il intervient quasiment dès le début de la technologie pour ce type de configuration. Il n'y a pas

d'optimisation possible du contact. Sa surface ne peut être que plane. La raideur de la poutre formant le contact est mal contrôlée. Cette raideur est conditionnée par la forme finale de la poutre qui  
5 dépend de la topologie d'une couche sacrificielle et qui dépend elle-même de la forme et de l'épaisseur des pistes situées en dessous. On se retrouve généralement avec un profil de poutre « chahuté » qui accroît sensiblement la raideur du commutateur et donc ses  
10 conditions d'actionnement.

Dans le cas d'un déplacement horizontal, le déplacement de fait dans le plan des pistes. Le contact se fait sur le flanc des pistes. Cette configuration est bien adaptée à un double contact, moyennant un  
15 actionneur symétrique. La métallisation « or » peut se faire en toute dernière étape technologique. Toutes les étapes précédentes peuvent être compatibles avec la réalisation de circuits intégrés. La forme du contact est déterminée lors de l'étape de photolithographie. On  
20 peut avoir par exemple un contact arrondi pour rendre ponctuel le contact et limiter ainsi la résistance de contact. La forme de la poutre est déterminée lors de l'étape de photolithographie. Sa raideur est de ce fait bien contrôlée. Par contre, la métallisation sur le  
25 flanc est délicate. La résistance de contact peut de ce fait être mal contrôlée. Cette configuration est inadaptée à un actionnement électrostatique à cause des surfaces d'actionnement en regard très réduites.

Le nombre d'états d'équilibre est une autre  
30 caractéristique du mouvement des commutateurs. Le cas standard est celui où l'actionneur n'a qu'un seul état

d'équilibre. Ceci implique qu'un des deux états du commutateur (commuté ou non commuté) nécessite une alimentation en tension continue pour le maintien en position. L'arrêt de l'excitation replace la  
5 commutateur dans sa position d'équilibre.

Le cas bistable est le cas où l'actionneur a deux états d'équilibre distincts. L'avantage de ce mode de fonctionnement est que les deux positions « fermé » et « ouvert » du commutateur sont stables et  
10 ne nécessitent pas d'alimentation tant que l'on ne bascule pas d'un état à l'autre.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

Il est proposé, selon la présente  
15 invention, un micro-commutateur bistable, à faible consommation et à déplacement horizontal. Ce micro-commutateur est particulièrement bien adapté au domaine de la téléphonie mobile et au domaine spatial.

L'invention a donc pour objet un micro-  
20 commutateur MEMS bistable réalisé sur un substrat et apte à raccorder électriquement les extrémités d'au moins deux pistes conductrices, comprenant une poutre suspendue au-dessus de la surface du substrat, la poutre étant encastrée à ses deux extrémités et étant  
25 contrainte en compression quand elle est en position non déformée, la poutre possédant des moyens formant contact électrique disposés pour réaliser une connexion latérale avec les extrémités des deux pistes conductrices lors d'une déformation de la poutre dans  
30 une direction horizontale par rapport à la surface du substrat, le micro-commutateur possédant des moyens

d'actionnement de la poutre pour la placer soit dans une première position déformée, correspondant à un premier état stable, soit dans une deuxième position déformée, correspondant à un deuxième état stable et  
5 opposée à la première position déformée par rapport à la position non déformée, les moyens formant contact électrique assurant la connexion des extrémités des deux pistes conductrices lorsque la poutre est dans sa première position déformée.

10 Le micro-commutateur peut être un micro-commutateur double. Dans ce cas, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux premières pistes conductrices, la deuxième position déformée correspond à la connexion des  
15 extrémités de deux deuxièmes pistes conductrices.

Il peut être un micro-commutateur simple. Dans ce cas, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux pistes conductrices, la deuxième position déformée correspond  
20 à une absence de connexion.

Selon un premier mode de mise en œuvre, la poutre est en matériau diélectrique ou semiconducteur et les moyens formant contact électrique sont formés d'un plot électriquement conducteur et solidaire de la  
25 poutre. Les moyens d'actionnement de la poutre peuvent comprendre des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame. Chaque actionneur thermique peut alors comprendre un pavé de matériau conducteur thermique en contact intime avec une résistance électrique. Les  
30 moyens d'actionnement de la poutre peuvent comprendre des moyens pour mettre en œuvre des forces



électrostatiques. Ils peuvent comprendre des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame et des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

5                   Selon un deuxième mode de mise en œuvre, la poutre est en matériau électriquement conducteur. Les moyens d'actionnement de la poutre peuvent alors comprendre des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

10                   Les moyens formant contact électrique peuvent avoir une forme permettant de s'encastrier entre les extrémités des pistes conductrices à connecter. Dans ce cas, les extrémités des pistes conductrices peuvent posséder une flexibilité permettant d'épouser  
15 la forme des moyens formant contact électrique lors d'une connexion.

Le micro-commutateur peut aussi comprendre des moyens formant ressort de relaxation pour au moins l'une des extrémités encastrées de la poutre.

20                   Les moyens formant contact électrique peuvent être des moyens assurant un contact ohmique ou des moyens assurant un contact capacitif.

#### **BREVE DESCRIPTION DES DESSINS**

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages et particularités apparaîtront à la lecture  
25 de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue de dessus d'une  
30 première variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 2 montre le micro-commutateur de la figure 1 dans un premier état stable de fonctionnement,

5       - la figure 3 montre le micro-commutateur de la figure 1 dans un deuxième état stable de fonctionnement,

- la figure 4 est une vue de dessus d'une deuxième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

10       - la figure 5 est une vue de dessus d'une troisième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- La figure 6 est une vue de dessus d'un micro-commutateur simple selon la présente invention,

15       - la figure 7 est une vue de dessus d'une quatrième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 8 est une vue de dessus d'une cinquième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

20       - la figure 9 est une vue de dessus d'une sixième variante de micro-commutateur double selon la présente invention,

- la figure 10 est une vue de dessus d'un micro-commutateur double correspondant à la première variante mais pourvu de contacts optimisés,

25       - la figure 11 montre le micro-commutateur de la figure 10 dans un premier état stable de fonctionnement.

**EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

La suite de la description portera à titre d'exemple sur des micro-commutateurs à contact ohmique. Cependant, l'homme du métier n'aura aucun problème pour  
5 appliquer l'invention à des micro-commutateurs à contact capacitif.

La figure 1 est une vue de dessus d'une première variante de micro-commutateur double selon la première invention.

10 Le micro-commutateur est réalisé sur un substrat 1 dont seulement une partie est représentée par souci de simplification. Ce micro-commutateur est un double commutateur. Il est destiné à réaliser une connexion soit entre les extrémités 12 et 13 des pistes  
15 conductrices 2 et 3, soit entre les extrémités 14 et 15 des pistes conductrices 4 et 5.

Le micro-commutateur de la figure 1 comprend une poutre 6 en matériau diélectrique ou semiconducteur. Elle est située dans le plan des pistes  
20 conductrices. La poutre est encastrée à ses deux extrémités dans des parties surélevées du substrat 1. Elle est représentée dans sa position initiale et est alors soumise à une contrainte en compression. Cette contrainte peut être induite par les contraintes  
25 intrinsèques des matériaux utilisés pour réaliser la structure mobile du micro-commutateur, c'est-à-dire la poutre et les éléments associés (actionneurs).

La poutre représentée est de section rectangulaire. Elle supporte sur sa face dirigée vers  
30 les pistes 2 et 3 (c'est-à-dire sur l'un de ses flancs) des actionneurs 20 et 30 et, sur sa face dirigée vers

les pistes 4 et 5 (c'est-à-dire sur son autre flanc), des actionneurs 40 et 50. Les actionneurs sont situés près des zones d'encastrement de la poutre. Chaque actionneur est constitué d'un pavé bon conducteur thermique et d'une résistance électrique. Ainsi, l'actionneur 20 comprend un pavé 21 auquel est associée une résistance 22. Il en va de même pour les autres actionneurs.

La poutre est de préférence réalisée en matériau diélectrique ou semiconducteur à faible coefficient de dilatation thermique. Les pavés des actionneurs thermiques sont de préférence réalisés en matériau métallique à fort coefficient de dilatation thermique pour obtenir un effet bilame à rendement élevé. Le déplacement de la poutre se faisant suivant la direction horizontale (le plan de la figure), les actionneurs sont placés sur les flancs de la poutre et au voisinage des encastrements, toujours dans un souci de rendement thermomécanique.

La poutre 6 supporte également, en partie centrale et sur ses flancs, un plot de contact électrique 7, destiné à assurer une connexion électrique du type ohmique entre les extrémités 12 et 13 des pistes 2 et 3, et un plot de contact électrique 8 entre les extrémités 14 et 15 des pistes 4 et 5.

A la mise en service du micro-commutateur, un premier jeu d'actionneurs permet de basculer la poutre 6 dans une position correspondant à l'un de ses deux états stables. C'est ce que représente la figure 2. Sous l'action des actionneurs 40 et 50 qui induisent un effet bilame dans la poutre 6, celle-ci se déforme

pour se placer dans un premier état stable montré sur la figure. Dans cet état stable, le plot de contact électrique 7 assure une connexion entre les extrémités 12 et 13 des pistes conductrices 2 et 3. Les  
5 alimentations des résistances électriques des actionneurs 40 et 50 sont interrompues et la poutre reste dans ce premier état stable.

Pour commuter le micro-commutateur, c'est-à-dire pour le placer dans son deuxième état stable, il  
10 faut alimenter les résistances électriques des actionneurs 20 et 30 pour induire un effet bilame contraire au précédent dans la poutre 6. Celle-ci se déforme alors pour se placer dans son deuxième état stable montré sur la figure 3. Dans ce deuxième état  
15 stable, le plot de contact électrique 8 assure une connexion entre les extrémités 14 et 15 des pistes conductrices 4 et 5. Les alimentations des résistances électriques des actionneurs 20 et 30 sont interrompues et la poutre reste dans ce deuxième état stable.

20 Les résistances électriques des actionneurs sont de préférences réalisées dans un matériau conducteur présentant une résistivité élevée. Les pistes conductrices et les plots de contact sont réalisés préférentiellement en or pour ses bonnes  
25 propriétés électriques et sa fiabilité dans le temps, vis-à-vis de l'oxydation notamment.

Les encastrements de la poutre peuvent être soit rigides (encastrement simple), soit plus ou moins souples en jouant sur la configuration des  
30 encastrements, par exemple par l'ajout de ressorts de relaxation. Le fait de pouvoir jouer sur la souplesse

de la poutre permet de contrôler les contraintes dans la poutre aussi bien initialement (contraintes intrinsèques) que pour passer d'un état stable à l'autre (passage par un état de flambage). Ceci a pour  
5 avantage de limiter les risques de rupture de la poutre mais également de permettre une limitation de la consommation du micro-commutateur (abaissement de la température de basculement du micro-commutateur). La poutre peut présenter une relaxation de contraintes  
10 seulement à l'une de ses extrémités encastrees ou à ses deux extrémités.

La figure 4 est une vue de dessus d'une deuxième variante de micro-commutateur double selon la présente invention et dont les deux extrémités de la  
15 poutre présentent un encastrement à relaxation de contraintes.

La variante de réalisation de la figure 4 comprend les mêmes éléments que la variante de réalisation de la figure 2 à l'exception de  
20 l'encastrement des extrémités de la poutre. A ce niveau, le substrat 1 présente des fentes de relâchement des contraintes 111 perpendiculaires à l'axe de la poutre. Les fentes 111 procurent une certaine souplesse à la partie du substrat située entre  
25 elles et la poutre. Le micro-commutateur est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

L'utilisation de forces électrostatiques peut également être envisagée pour le micro-commutateur selon l'invention soit comme principe d'actionnement,  
30 soit comme assistance en position commutée après arrêt de l'alimentation des résistances chauffantes des

actionneurs, pour augmenter la pression du plot de contact électrique et ainsi limiter la résistance de contact.

La figure 5 est une vue de dessus d'une  
5 troisième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise des actionneurs à effet bilame et présente une assistance électrostatique. Il est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

10 On reconnaît le substrat 201, des pistes 202 et 203 à connecter par le plot de contact 207 lors d'un basculement de la poutre 206 dans un premier état stable, des pistes 204 et 205 à connecter par le plot de contact 208 lors d'un basculement de la poutre 206  
15 dans un deuxième état stable, des actionneurs 220, 230 et 240, 250.

Le micro-commutateur de la figure 5 comporte en outre des électrodes permettant l'application de forces électrostatiques. Ces  
20 électrodes sont distribuées sur la poutre et sur le substrat. La poutre 206 supporte sur un premier flanc des électrodes 261 et 262 et, sur un deuxième flanc, des électrodes 263 et 264. Ces électrodes sont situées entre les actionneurs thermiques et les plots de  
25 contact électrique. Le substrat 201 supporte des électrodes 271 à 274 en regard de chaque électrode supportée par la poutre 206. L'électrode 271 possède une partie en regard de l'électrode 261, cette partie n'étant pas visible sur la figure, et une partie  
30 destinée à sa connexion électrique, cette partie étant visible sur la figure. Il en va de même pour les

électrodes 272, 273 et 274 par rapport aux électrodes 262, 263 et 264 respectivement.

On remarque que les électrodes 271 à 274 ont une forme qui correspond à la forme de la poutre déformée. Ceci permet de limiter les tensions d'actionnement ou de maintien (électrodes à entrefer variable).

Le micro-commutateur peut être mis dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 202 et 203 par le plot de contact 207, au moyen des actionneurs thermiques 240 et 250 qui ne sont mis en service que pour obtenir le premier état stable. L'application d'une tension entre les électrodes 261 et 271 d'une part et entre les électrodes 262 et 272 d'autre part assure une diminution de la résistance de contact entre le plot 207 et les pistes 202 et 203.

Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable au moyen des actionneurs 220 et 230 qui ne sont mis en service que pour obtenir le basculement du premier état stable vers le deuxième état stable. L'application d'une tension entre les électrodes 263 et 273 d'une part et entre les électrodes 264 et 274 d'autre part assure une diminution de la résistance de contact entre le plot 208 et les pistes 204 et 205.

La figure 6 est une vue de dessus d'un micro-commutateur simple selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise des actionneurs à effet bilame, sans assistance électrostatique. Il est



représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 301, des pistes 302 et 303 à connecter par le plot de contact 307 lors d'un basculement de la poutre 306 dans un premier état stable, le deuxième état stable correspond à une absence de connexion. On reconnaît également des actionneurs 320, 330 et 340, 350.

La figure 7 est une vue de dessus d'une quatrième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Ce micro-commutateur utilise uniquement des actionneurs à effet électrostatique. Il est représenté dans sa position initiale, avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 401, des pistes 402 et 403 à connecter par le plot de contact 407 lors d'un basculement de la poutre 406 dans un premier état stable et des pistes 404 et 405 à connecter par le plot de contact 408 lors d'un basculement de la poutre 406 dans un deuxième état stable.

Le micro-commutateur de la figure 7 comporte des électrodes permettant l'application de forces électrostatiques. Ces électrodes sont distribuées sur la poutre et le substrat. La poutre 406 supporte sur un premier flanc des électrodes 461 et 462 et, sur un deuxième flanc, des électrodes 463 et 464. Ces électrodes sont situées de chaque côté des plots de contact électrique 407 et 408. Le substrat 401 supporte des électrodes 471 à 474 en regard de chaque électrode supportée par la poutre 406. L'électrode 471 possède une partie en regard de l'électrode 461, cette partie

n'étant pas visible sur la figure, et une partie destinée à sa connexion électrique, cette partie étant visible sur la figure. Il en va de même pour les électrodes 472, 473 et 474 par rapport aux électrodes  
5 462, 463 et 464 respectivement.

Le micro-commutateur peut être mis dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 402 et 403 par le plot de contact 407, par application d'une tension  
10 entre les électrodes 461 et 471 d'une part et entre les électrodes 462 et 472 d'autre part. Une fois que la poutre a basculé dans son premier état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite de façon à diminuer la résistance de contact entre le plot  
15 407 et les pistes 402 et 403.

Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable par application d'une tension entre les électrodes 463 et 473 d'une part et entre les électrodes 464 et 474 d'autre part (et suppression de  
20 la tension d'assistance électrostatique de maintien dans le premier état stable si cette assistance était utilisée). Une fois que la poutre a basculé dans son deuxième état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite comme précédemment.

25 La figure 8 est une vue de dessus d'une cinquième variante de micro-commutateur double selon la présente invention. Cette cinquième variante est une version optimisée de la variante précédente. Les mêmes références qu'à la ligne précédente ont été conservées  
30 pour désigner les mêmes éléments.

Les électrodes 471', 472', 473' et 474' ont la même fonction que les électrodes correspondantes 471, 472, 473 et 474 du micro-commutateur de la figure 7. Cependant, elles ont une forme qui correspond à la  
5 forme de la poutre déformée. Ceci permet de limiter les tensions d'actionnement ou de maintien (électrodes à entrefer variable).

La figure 9 est une vue de dessus d'une sixième variante de micro-commutateur double selon la  
10 présente invention. Il est représenté dans sa position initiale avant sa mise en service.

On reconnaît le substrat 501, des pistes 502 et 503 à connecter par le plot de contact 507 lors d'un basculement de la poutre 506 dans un premier état  
15 stable et des pistes 504 et 505 à connecter par le plot de contact 508 lors d'un basculement de la poutre 506 dans un deuxième état stable.

La poutre 506 est dans cette variante une poutre métallique, par exemple en aluminium, supportant  
20 sur ses flancs les plots de contact 507 et 508. Le basculement de la poutre dans un premier état stable, par exemple celui correspondant à la connexion des pistes conductrices 502 et 503 s'obtient en appliquant une tension de basculement entre la poutre 506 servant  
25 d'électrode et les électrodes 571 et 572. Une fois que la poutre a basculé dans son premier état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite de façon à diminuer la résistance de contact entre le plot 507 et les pistes 502 et 503.

30 Le micro-commutateur peut être mis dans le deuxième état stable par application d'une tension

entre la poutre 506 et les électrodes 573 et 574 (et suppression de la tension d'assistance électrostatique de maintien dans le premier état stable si cette assistance était utilisée). Une fois que la poutre a  
5 basculé dans son deuxième état stable, la tension appliquée peut être supprimée ou réduite comme précédemment. Pour cette variante de micro-commutateur, l'actionnement électrostatique a été optimisé par la forme donnée aux électrodes 571 à 574.

10 La figure 10 est une vue de dessus d'un micro-commutateur double correspondant à la première variante mais pourvu de contacts optimisés. Le micro-commutateur est représenté dans sa position initiale avant sa mise en service. Les mêmes références qu'à la  
15 figure 1 ont été conservées pour désigner les mêmes éléments.

On remarque sur cette figure que les extrémités 12', 13', 14', et 15' des pistes conductrices respectivement 2, 3, 4 et 5 ont été  
20 optimisées pour assurer un meilleur contact électrique avec les plots de contact 7' et 8'. Ainsi, les plots de contact 7' et 8' ont une forme plus large à leur base (c'est-à-dire près de la poutre) qu'à leur sommet. Ils peuvent ainsi s'encastrent plus facilement entre les  
25 extrémités 12', 13' et 14', 15' qui sont, elles, pourvues d'un congé d'encastrement.

Les extrémités des pistes conductrices peuvent également être légèrement flexibles pour épouser la forme du plot de contact et assurer ainsi un  
30 meilleur contact électrique. C'est ce que montre la

figure 11 où le micro-commutateur est montré dans un premier état stable.

Le micro-commutateur selon la présente invention présente les avantages suivants.

5                   Son fonctionnement nécessite une faible consommation du fait de la bi-stabilité.

Les variantes à actionneur thermique possèdent un rendement d'actionnement élevé. Leur temps de commutation est faible dans la mesure où il n'est pas nécessaire de monter très haut en température pour faire basculer la poutre. Ils ont aussi à faible tension de basculement lorsque des actionneurs électrostatiques sont associés aux actionneurs thermiques. Ceci est dû :

15                   - à l'utilisation de l'effet bilame thermique ;

                  - à l'utilisation de résistances chauffantes intégrées sur la poutre et localisées sur (ou au voisinage strict) des parties à fort coefficient de dilatation thermique du bilame (blocs métalliques) permettant d'avoir le rendement électrothermique le plus élevé possible (pertes thermiques les plus faibles) ;

20                   - à l'utilisation d'une poutre diélectrique, à faible conductivité thermique, évitant une dissipation thermique importante en dehors de la zone du bilame.

On utilise donc dans le cas de l'invention, à la fois la différence de dilatation thermique de deux matériaux différents, mais également l'application et

30

le conditionnement de la température des résistances chauffantes au niveau du bilame.

L'invention offre la possibilité d'obtenir un commutateur double.

5 Elle offre la possibilité d'obtenir un commutateur où la résistance de contact peut être optimisée :

- par la forme qui peut être donnée aux plots de contact et aux extrémités des pistes à  
10 commuter, et éventuellement à la souplesse de la zone de contact qui permet un contact plus « adapté » entre plots de contact et pistes ;

- par la possibilité de l'ajout d'électrodes « d'assistance » de forme adaptée qui  
15 permettent d'obtenir une forte pression sur le plot de contact avec une faible tension aux bornes de ces électrodes.

La réalisation des micro-commutateurs selon l'invention présente une forte compatibilité avec les  
20 procédés de réalisation des circuits intégrés (métallisations « or » en fin de procédé de fabrication si nécessaire).

La bi-stabilité que présente le micro-commutateur est parfaitement contrôlée pour deux  
25 raisons. La première raison est que la bi-stabilité est obtenue par le fait que la poutre doit être en contrainte de compression. Cette contrainte est amenée par les matériaux constitutifs du commutateur (forme, épaisseur). Si la poutre est conçue de manière  
30 parfaitement symétrique, et si la réalisation de chacun des deux jeux d'actionneurs est faite lors du même

dépôt, la contrainte ne peut être que parfaitement symétrique (même forme, même épaisseur et symétrie des actionneurs). On est donc en présence d'un dispositif à même de ne pas privilégier un état stable par rapport à  
5 un autre état qui serait moins stable. La deuxième raison est qu'il est possible de contrôler la valeur de la contrainte de compression par la nature du dépôt et également par la conception, en ajoutant des « ressorts » de relâchement de contrainte.

10 Le micro-commutateur selon l'invention peut avantageusement être réalisé sur un substrat de silicium. La partie encastrement et la poutre peuvent être réalisées en  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_2$  ou en silicium polycristallin. Les pistes conductrices, les plots de  
15 contact, les électrodes, les actionneurs thermiques peuvent être réalisés en or, en aluminium ou en cuivre, en nickel, matériaux pouvant être déposés sous vide ou par voie électrochimique (électrolyse, dépôt autocatalytique). Les résistances chauffantes peuvent  
20 être réalisées en TaN, TiN ou en Ti.

A titre d'exemple, un procédé de réalisation d'un micro-commutateur ohmique à actionnement thermique sur un substrat de silicium peut comprendre les étapes suivantes :

- 25 - dépôt d'une couche d'oxyde de 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur par PECVD sur le substrat,  
- lithographie et gravure d'une cavité en vue d'obtenir l'encastrement,  
- dépôt d'une couche de polyimide de 1  $\mu\text{m}$   
30 d'épaisseur, servant de couche sacrificielle,

- planarisation sèche ou polissage mécano-chimique (CMP) de la couche sacrificielle,
- dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  de 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 5       - gravure de cette couche de  $\text{SiO}_2$  pour obtenir des ouvertures pour les actionneurs, les plots de contact et les pistes conductrices,
- dépôt d'une couche d'aluminium de 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 10       - planarisation par CMP de la couche d'aluminium jusqu'à révéler la couche de  $\text{SiO}_2$ ,
- dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  de 0,15  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- dépôt d'une couche de  $\text{TiN}$  de 0,2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 15       - litho-gravure des résistances chauffantes dans la couche de  $\text{TiN}$ ,
- dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  de 0,2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 20       - litho-gravure de cette couche de  $\text{SiO}_2$  pour obtenir des plots de contact des résistances chauffantes,
- litho-gravure du  $\text{SiO}_2$  avec arrêt sur la couche sacrificielle pour obtenir la poutre,
- 25       - dépôt d'un bicouche  $\text{Cr/Au}$  de 0,3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- litho-gravure des pistes conductrices et des plots de contact,
- gravure de la couche sacrificielle pour
- 30       dégager la poutre.



Selon un autre exemple de réalisation, un procédé de réalisation d'un micro-commutateur à actionnement thermique sur un substrat de silicium peut comprendre les étapes suivantes :

- 5                   - dépôt d'une couche d'oxyde de 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur par PECVD sur le substrat,
- lithographie par gravure d'une cavité en vue d'obtenir l'encastrement,
- dépôt d'une couche de polyimide de 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur, servant de couche sacrificielle,
- 10                  - planarisation sèche ou polissage mécano-chimique (CMP) de la couche sacrificielle,
- dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  de 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 15                  - gravure de cette couche de  $\text{SiO}_2$  pour obtenir des ouvertures pour les actionneurs,
- dépôt d'une couche d'aluminium de 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- planarisation par CMP des actionneurs,
- 20                  - dépôt d'une couche de  $\text{TiN}$  de 0,2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- litho-gravure des résistances chauffantes dans la couche de  $\text{TiN}$ ,
- dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  de 0,2  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- 25                  - litho-gravure de cette couche de  $\text{SiO}_2$  pour obtenir des plots de contact des résistances chauffantes,
- litho-gravure de cette couche de  $\text{SiO}_2$  sur
- 30                  une profondeur de 3,2  $\mu\text{m}$  pour obtenir la poutre,

- dépôt d'un tricolouche Ti/Ni/Au de 1  $\mu\text{m}$  d'épaisseur,
- litho-gravure des pistes conductrices et des plots de contact,
- 5 - gravure de la couche sacrificielle pour dégager la poutre.

**REVENDICATIONS**

1. Micro-commutateur MEMS bistable réalisé sur un substrat (1) et apte à raccorder électriquement les extrémités (12, 13, 14, 15) d'au moins deux pistes conductrices (2, 3, 4, 5), comprenant une poutre (6) suspendue au-dessus de la surface du substrat, la poutre étant encastrée à ses deux extrémités et étant contrainte en compression quand elle est en position non déformée, la poutre (6) possédant des moyens formant contact électrique (7, 8) disposés pour réaliser une connexion latérale avec les extrémités des deux pistes conductrices lors d'une déformation de la poutre dans une direction horizontale par rapport à la surface du substrat, le micro-commutateur possédant des moyens d'actionnement (20, 30, 40, 50) de la poutre pour la placer soit dans une première position déformée, correspondant à un premier état stable, soit dans une deuxième position déformée, correspondant à un deuxième état stable et opposée à la première position déformée par rapport à la position non déformée, les moyens formant contact électrique (7, 8) assurant la connexion des extrémités (12, 13, 14, 15) des deux pistes conductrices (2, 3, 4, 5) lorsque la poutre est dans sa première position déformée.

2. Micro-commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant un micro-commutateur double, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités (12, 13) de deux premières pistes conductrices (2, 3), la deuxième

position déformée correspond à la connexion des extrémités (14, 15) de deux deuxièmes pistes conductrices (4, 5).

5                   3. Micro-commutateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que, le micro-commutateur étant un micro-commutateur simple, la première position déformée correspond à la connexion des extrémités de deux pistes conductrices (302, 303), la deuxième position déformée  
10 correspond à une absence de connexion.

                  4. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la poutre (6) est en matériau diélectrique ou  
15 semiconducteur et les moyens formant contact électrique sont formés d'un plot (7, 8) électriquement conducteur et solidaire de la poutre.

                  5. Micro-commutateur selon la revendication  
20 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des actionneurs thermiques ( 20, 30, 40, 50) utilisant un effet bilame.

                  6. Micro-commutateur selon la revendication  
25 5, caractérisé en ce que chaque actionneur thermique (20) comprend un pavé de matériau conducteur thermique (21) en contact intime avec une résistance électrique (22).

30                   7. Micro-commutateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de

la poutre comprennent des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques (271, 272, 273, 274 ; 261, 262, 263, 264).

5                   8. Micro-commutateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des actionneurs thermiques utilisant un effet bilame et des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques.

10

9. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la poutre (506) est en matériau électriquement conducteur.

15                   10. Micro-commutateur selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement de la poutre comprennent des moyens pour mettre en œuvre des forces électrostatiques (506 ; 571, 572, 573, 574).

20

11. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique (7', 8') ont une forme permettant de s'encastrent entre les  
25 extrémités ( 12', 13', 14', 15') des pistes conductrices ( 2, 3, 4, 5) à connecter.

12. Micro-commutateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que les extrémités  
30 (12', 13', 14', 15') des pistes conductrices ( 2, 3, 4, 5) possèdent une flexibilité permettant d'épouser la

forme des moyens formant contact électrique (7', 8') lors d'une connexion.

13. Micro-commutateur selon l'une  
5 quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens formant ressort de relaxation (111) pour au moins l'une des extrémités encastrées de la poutre (106).
- 10 14. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique sont des moyens assurant un contact ohmique.
- 15 15. Micro-commutateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les moyens formant contact électrique sont des moyens assurant un contact capacitif.

1 / 4

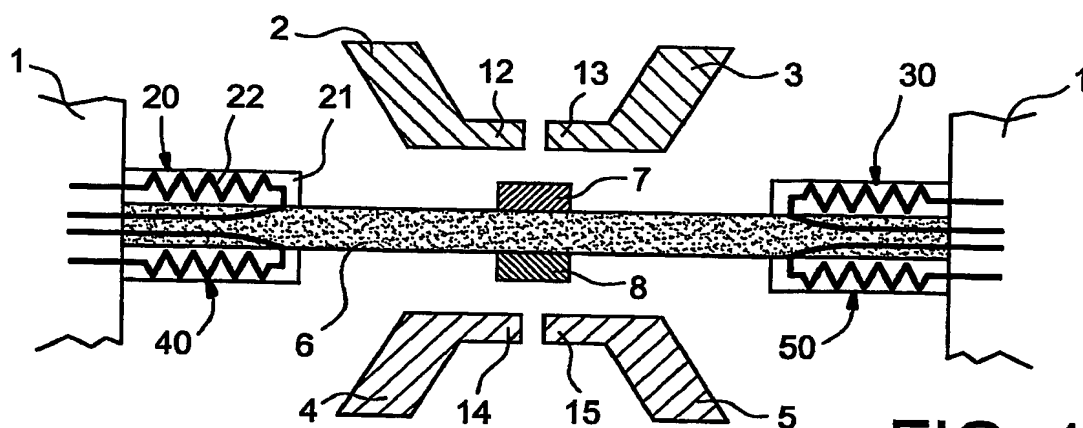


FIG. 1

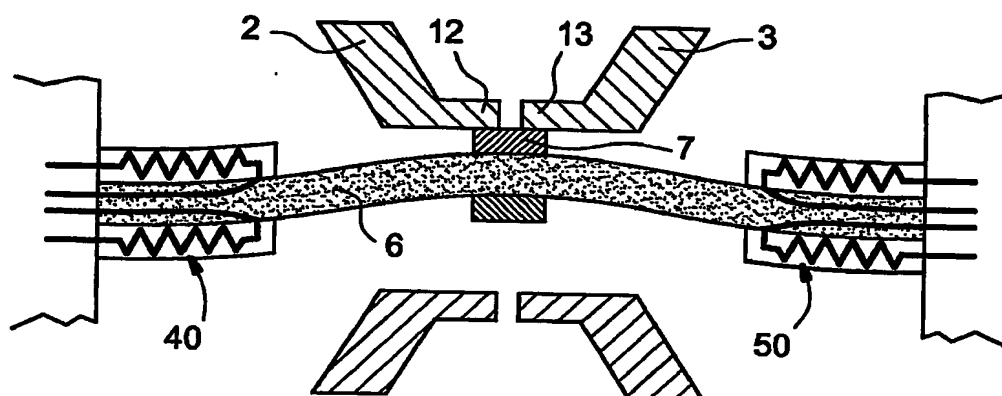


FIG. 2

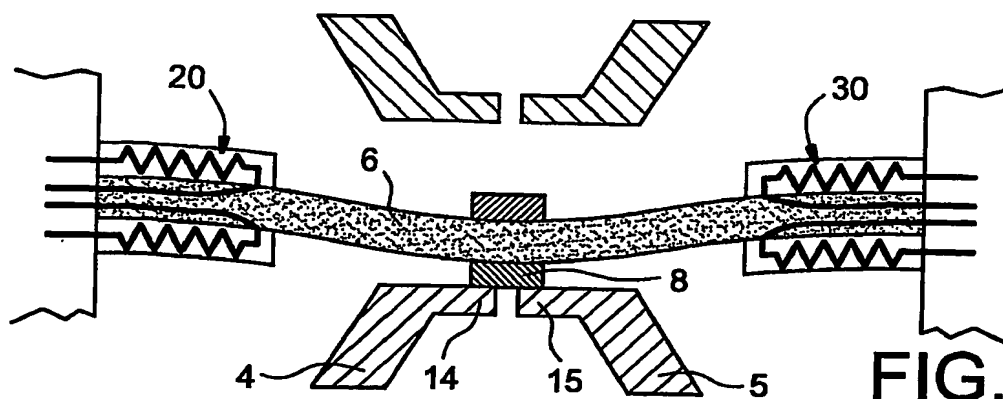


FIG. 3

2 / 4

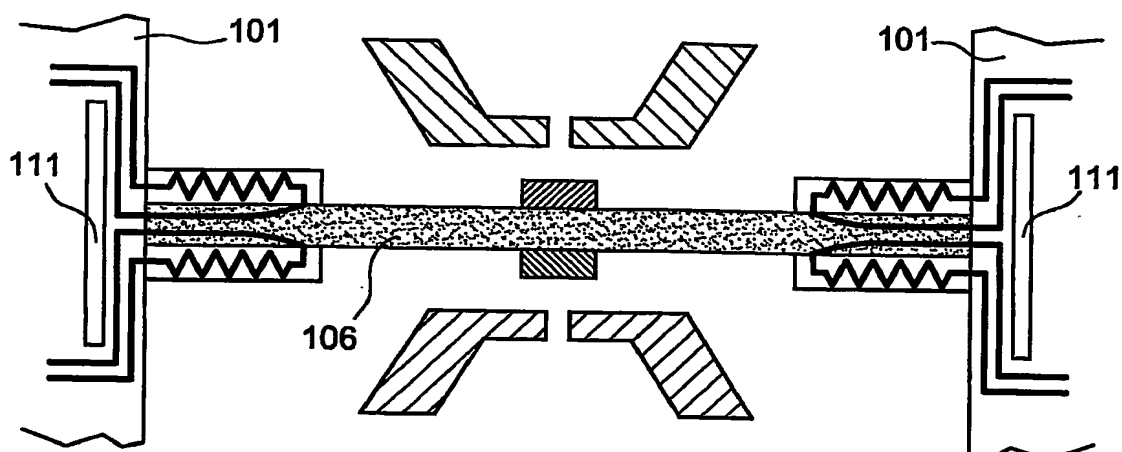


FIG. 4

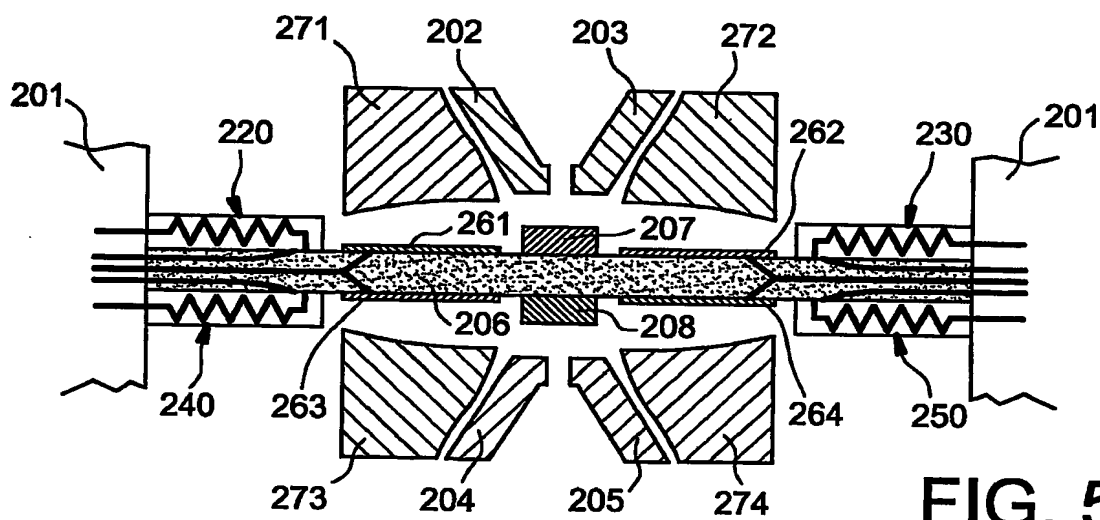


FIG. 5

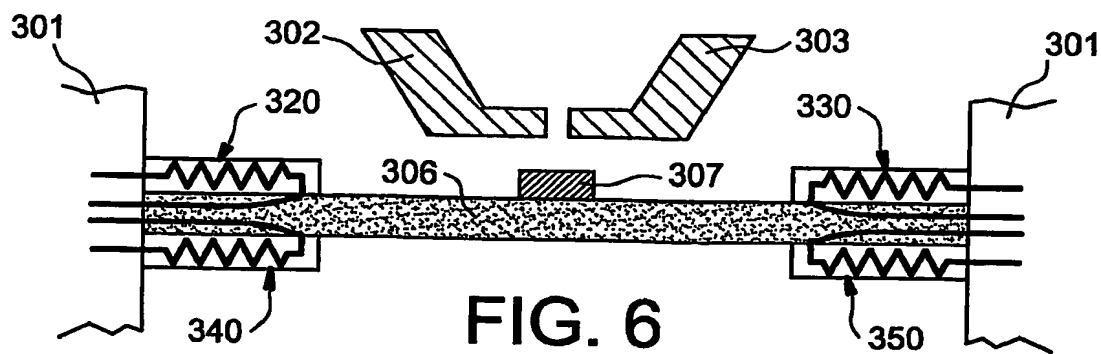


FIG. 6



3 / 4

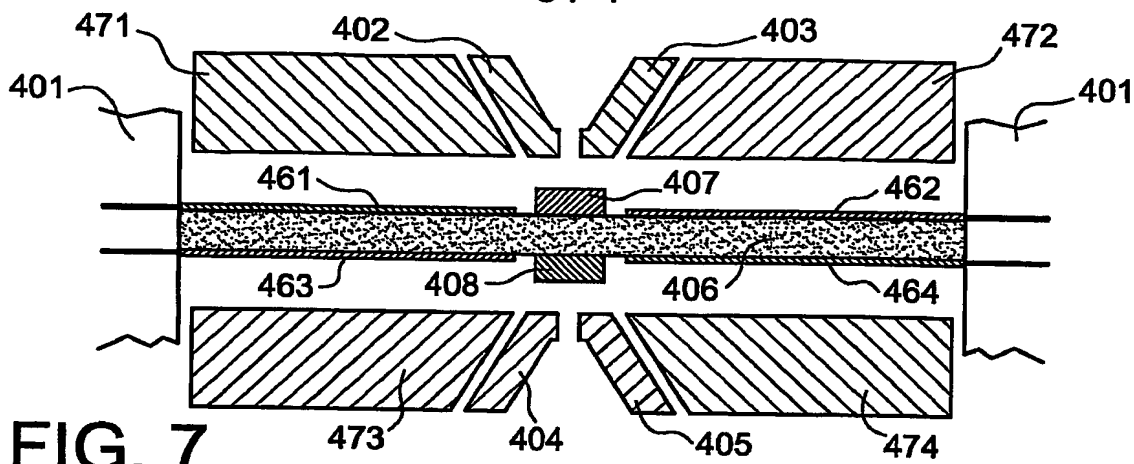


FIG. 7

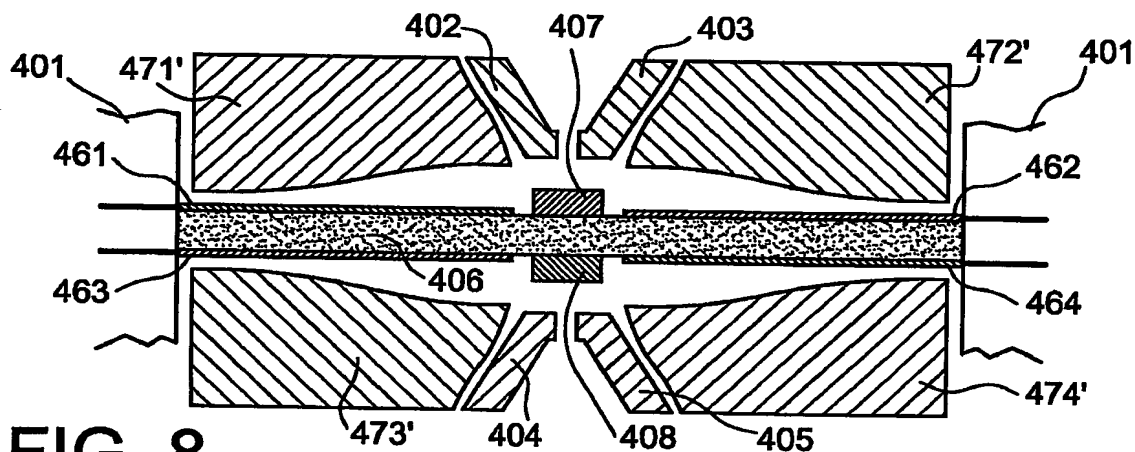


FIG. 8

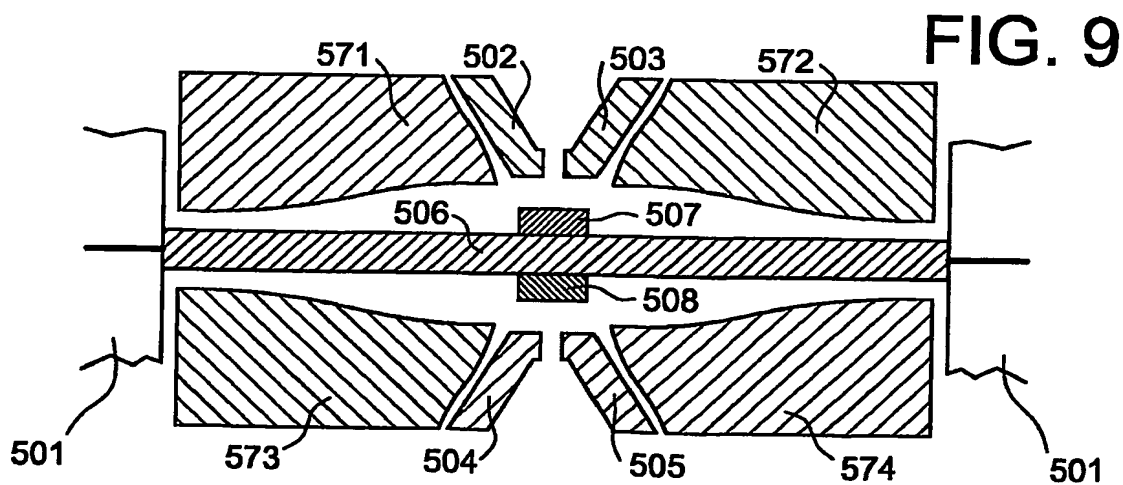


FIG. 9

4 / 4

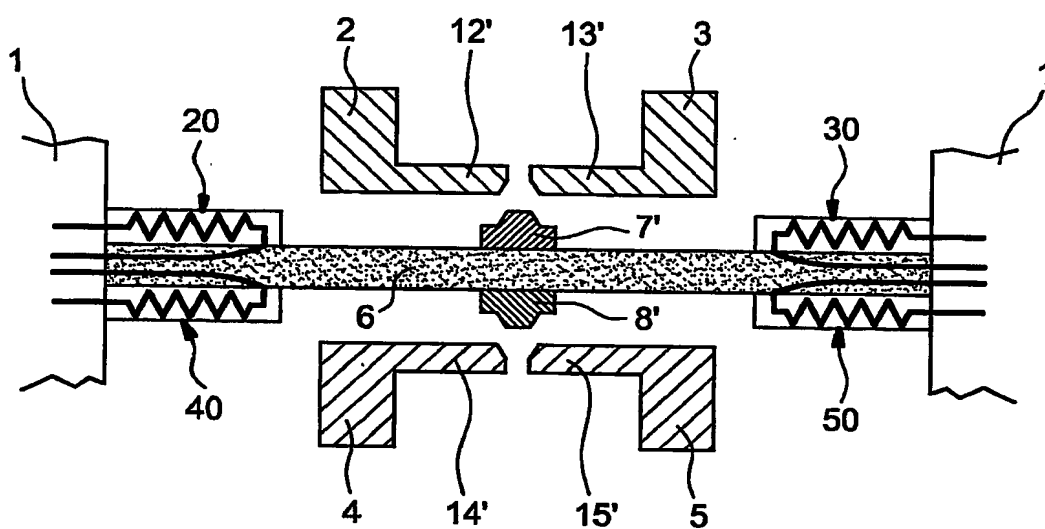


FIG. 10

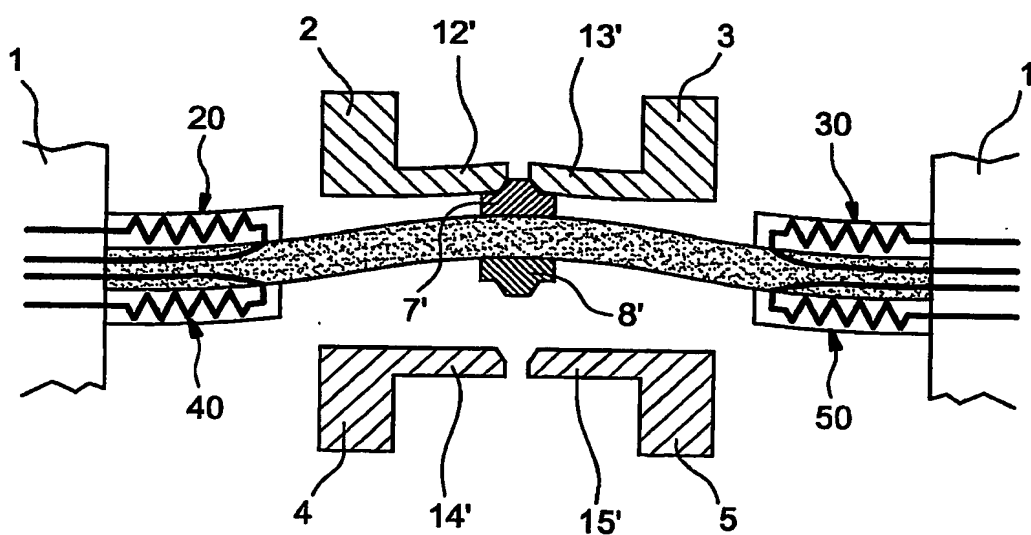


FIG. 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050298

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01H1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/029705 A1 (STRUEMPLER RALF ET AL) 13 February 2003 (2003-02-13) paragraphs '0015!', '0030!', '0031!', '0199!; figures 13,14,20	1,3,9, 10,14,15
Y	-----	2,4,5
Y	EP 1 001 440 A (GEN ELECTRIC) 17 May 2000 (2000-05-17) figures 14,15	2
Y	-----	4
Y	DE 199 37 811 A (BOSCH GMBH ROBERT) 22 March 2001 (2001-03-22) column 4, lines 5-7	5
Y	-----	
Y	FR 2 772 512 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 18 June 1999 (1999-06-18) page 1, line 30	
	-----	

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 October 2004

Date of mailing of the international search report

27/10/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Simonini, S

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050298

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2003029705	A1	13-02-2003	WO	02058089 A1	25-07-2002
EP 1001440	A	17-05-2000	US	6188301 B1	13-02-2001
			EP	1001440 A2	17-05-2000
			JP	2000190298 A	11-07-2000
			US	6655011 B1	02-12-2003
DE 19937811	A	22-03-2001	DE	19937811 A1	22-03-2001
FR 2772512	A	18-06-1999	FR	2772512 A1	18-06-1999
			DE	69804352 D1	25-04-2002
			DE	69804352 T2	10-10-2002
			EP	1040492 A1	04-10-2000
			WO	9931689 A1	24-06-1999
			JP	2002509332 T	26-03-2002

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

De l'Union Internationale No

PCT/FR2004/050298

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7 H01H1/00		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 H01H		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2003/029705 A1 (STRUEMPLER RALF ET AL) 13 février 2003 (2003-02-13) alinéas '0015!, '0030!, '0031!, '0199!; figures 13,14,20	1,3,9, 10,14,15
Y	-----	2,4,5
Y	EP 1 001 440 A (GEN ELECTRIC) 17 mai 2000 (2000-05-17) figures 14,15	2
Y	DE 199 37 811 A (BOSCH GMBH ROBERT) 22 mars 2001 (2001-03-22) colonne 4, ligne 5-7	4
Y	FR 2 772 512 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 18 juin 1999 (1999-06-18) page 1, ligne 30	5
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
° Catégories spéciales de documents cités: <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div> <p>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>*&amp;* document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  19 octobre 2004		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  27/10/2004
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  Simonini, S

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR2004/050298

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003029705 A1	13-02-2003	WO 02058089 A1	25-07-2002
EP 1001440 A	17-05-2000	US 6188301 B1	13-02-2001
		EP 1001440 A2	17-05-2000
		JP 2000190298 A	11-07-2000
		US 6655011 B1	02-12-2003
DE 19937811 A	22-03-2001	DE 19937811 A1	22-03-2001
FR 2772512 A	18-06-1999	FR 2772512 A1	18-06-1999
		DE 69804352 D1	25-04-2002
		DE 69804352 T2	10-10-2002
		EP 1040492 A1	04-10-2000
		WO 9931689 A1	24-06-1999
		JP 2002509332 T	26-03-2002